



TITLE:

破壊現象に関するFEMによる研究
(1999年度後期基礎物理学研究所研
究会「破壊現象の数理」-現状と展
望-,研究会報告)

AUTHOR(S):

黒田, 明義

CITATION:

黒田, 明義. 破壊現象に関するFEMによる研究(1999年度後期基礎物理学
研究所研究会「破壊現象の数理」-現状と展望-,研究会報告). 物性研究
2000, 74(6): 697-698

ISSUE DATE:

2000-09-20

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/96851>

RIGHT:

破壊現象に関する FEM による研究¹

JCH(名大・土井プロジェクト) 黒田 明義²

1 目的

当プロジェクトは、その目的の 1 つとして高分子材料の力学特性を予測を掲げている。例えば HIPS(High Impact Polystilene) は非常に強い破壊強度を持ち、クレーズ (微小亀裂)、キャビテーション (はがれ) を伴う変形に起因する。それらを計算機上にて解析を行うことは有効であるが、破壊現象を取り扱うためには、特有のシミュレーションの適用が必要である。

2 シミュレーション原理

現在我々は高分子材料における破壊現象を解析するためのシミュレータを作成中なので紹介及び報告をする。このシミュレータは、Eular-Lagrange 猫像に立った物理的定式化を行い、Delaunay 三角形 Meshing 上の有限要素法 (FEM) シミュレーションを行うことで、場の方程式を数値的に解いている。更に、モルフォロジーから弾性体としての応力集中の様子を計算。破壊が生成した時のエネルギー流量 (J 積分等) を計算し亀裂の生成進展を行うものである。

FEM は、連立偏微分方程式系を数値的に解く方法である (図 1)。解 (関数) を求めるため空間を有限に切り、そのメッシュ間を補間することで、出来るだけ解に近い補間関数を変分計算にて求める方法である。FEM の利点は、連続体描象をとれ (スケールを大きくとれ

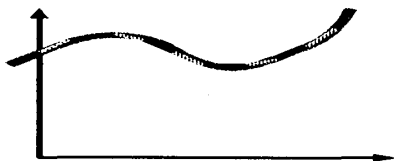


図 1: FEM における解の近似方法

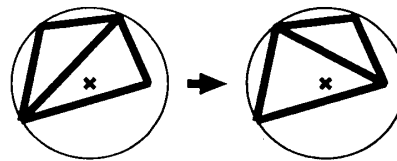


図 2: Delaunay 三角形分割方法

る。)、アダプティブなメッシュが可能、バルクに値を持ち精度が高い、等が挙げられる。

又、Delaunay 三角形分割は、空間上の点を正三角形に近い分割をする方法である。FEM における自動生成可能かつ効率の良い格子は Delaunay 三角形分割である (図 2)。メッシュの間隔を自由にとれる、メッシュの追加削除が容易、Lagrange 描象が可能、等の利点がある。

¹本研究は、通産省工業技術院の出資・補助を受け、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) が (財) 化学技術戦略推進機構 (JCII) に委託した大学連携形産業科学技術研究開発プロジェクト「高機能材料設計プラットフォーム (通称「土井プロ」)」の下で行われたものである。

²E-mail: kro@zoom.cse.nagoya-u.ac.jp

又、Lagrange 描象とは、流体上の視点で定式化する方法で、履歴の取り込みが容易、自由界面を取り扱いやすい、メッシュ上に別のシミュレータを埋め込める、等の利点を持つ。

破壊生成条件として、クラックが仮想的に生成した時を考え、エネルギーの流量 (J 積分) を計算する。

$$J \equiv - \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \lim_{\delta \rightarrow 0} \int_{\Gamma_{cnd}} T_i \frac{\partial u_i}{\partial X_1} d\Gamma \quad (1)$$

計算には仮想亀裂進展法を用いる。破壊生成条件は、このエネルギー流量と表面生成エネルギーの釣り合いで表われ、Mode I の破壊靱性 K_{Id} を用いて、 $J = \frac{1-\nu}{2\mu} K_{Id}^2$ である。

また破壊進展速度を求めるために、動的クラックでのエネルギー流量 (\dot{J} 積分) を計算する。破壊進展速度 $|\dot{v}|$ は、Mode I の動的破壊靱性 $K_{ID}(v)$ との比較により、 $\dot{J}(\vec{v}_c) = \frac{1-\nu}{2\mu} A_1(\vec{v}_c) K_{ID}^2$ から求まる。ここで $A_1(v)$ は、弾性理論から導かれる速度 v の関数である。方向に関しては、 $K_{II} = 0$ の方向+温度揺らぎで決定する。

3 シミュレータ

我々が作成した又は作成中のシミュレータとしては、以下の物がある。汎用線形弾性体シミュレータ: HIPS 等は、反応過程中にゴム成分の架橋のため、弾性的振る舞いをするようになる。よって弾性体の自由エネルギーを FEM を用い解くシミュレータを作成した。分散構造シミュレータ: オブジェクト化された場に対する連立偏微分方程式系を解くシステムである。一般化され、コンポーネント化された場を包括的に取り扱い、発展におけるスケジューリングも出来るように設計されている。上記弾性体シミュレータは、本シミュレータの一部である。その他のシミュレータ: 現在粗視化 MD シミュレータは、レオロジー予測シミュレータ、SCF シミュレータの 3 つを用意してある。

本プロジェクトにおけるシミュレータは、それぞれのシミュレータが有機的に結合することを目指しており、シームレスズーミングと呼んでいる。ズーミングの一環として、場のシミュレータの一部にミクロのシミュレータを埋め込む方法 (CONNFESSIT の拡張) 等を行っている。またエンジン群を管理するプラットフォームを提供している。

4 破壊シミュレータの今後

応力計算に非線形な粘弾性効果を構成方程式や CONNFEX などからを取り入れる。SCF や他のシミュレータからのデータ交換を行っての応力計算の実行。MC, MD 等のミクロな手法とのシームレスズーミングによる破壊パラメータの連結を考えている。

参考文献

- [1] L.B.Freund, Dynamic Fracture Mechanics (1990) Cambridge Univ. Press, NY
- [2] 矢川元基, 破壊力学 (1988) 培風館